

**GALLIUM NITRIDE-BASED COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT EMITTING ELEMENT**

Patent Number: JP2000091630  
Publication date: 2000-03-31  
Inventor(s): KATO HISAYOSHI; WATANABE HIROSHI; KOIDE NORIKATSU; ASAMI SHINYA  
Applicant(s):: TOYODA GOSEI CO LTD  
Requested Patent: ☐ JP2000091630 (JP00091630)  
Application Number: JP19980276454 19980910  
Priority Number(s):  
IPC Classification: H01L33/00  
EC Classification:  
Equivalents:

---

**Abstract**

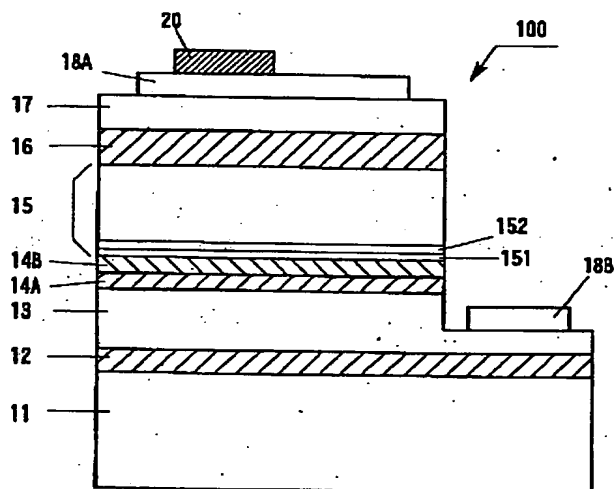
---

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To increase the light emitting efficiency by putting a light emitting layer between a p-type clad layer and an n-type clad layer and forming the n-type clad layer from impurity-doped  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ .

**SOLUTION:** On a substrate 11, a buffer layer 12 is formed. Thereon, an n-type contact layer 13 is formed. On the n-type contact 13, a stress relaxing layer 14A is formed. Then, an n-type clad layer 14B is formed from impurity-doped  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.06$ ) on the stress relaxing layer 14A. Thereafter, a light emitting layer 15 of the multiple quantum well structure made by alternately depositing a barrier layer 151 and a well layer 152 is formed on the n-type clad layer 14B. Then, a p-type clad layer 16 is formed on the light emitting layer 15 and then a p-type contact layer 17 is formed on the p-type clad layer 16. Due to this structure, the light emitting efficiency of a gallium nitride-based compound semiconductor element can be increased.

---

Data supplied from the esp@cenet database - I2



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 p型層とn型層とで発光層を挟んだダブルヘテロ接合の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、

n型層が、不純物がドーブされた $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.06$ ) より形成されることを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項2】 前記n型層から見て前記発光層とは逆側に、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0.02 \leq y \leq 0.04$ ) より形成される歪み緩和層を有する、請求項1に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項3】 前記発光層は多重量子井戸構造で構成されたことを特徴とする、請求項1又は請求項2に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項4】 n型層の膜厚は 50nm以上 300nm以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項5】 n型層の膜厚は 150nm以上 250nm以下であることを特徴とする請求項1乃至請求項3のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

【請求項6】 発光波長が紫外線領域である、請求項1乃至請求項5のいずれか1項に記載の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、発光の効率を向上させた窒化ガリウム系化合物半導体発光素子に関する。本発明は特に紫外線発光の窒化ガリウム系化合物半導体素子に有効である。

## 【0002】

【従来の技術】 基板上に窒化ガリウム系化合物半導体から成る層が積層された発光素子の代表的なものとしては、次のようなものがある。即ち、サファイヤを基板とし、その上から、窒化アルミニウム(AlN) より成るバッファ層、n型層であるシリコン(Si)ドーブのGaN から成る高キャリア濃度のnクラッド及びnコンタクト層、InGaN から成る発光層、p型層であるマグネシウム(Mg)ドーブのAlGaIn から成るpクラッド層、及び、p型層であるマグネシウム(Mg)ドーブのGaIn から成るpコンタクト層が順次積層されたものが知られている。発光層としてはGaIn から成るバリア層とInGaIn から成る井戸層とが交互に積層された多重量子井戸(MQW) 構造の発光層も有用である。また、窒化ガリウム系化合物半導体を用いた紫外線発光素子は、発光層にInGaIn 又はAlGaIn を用いたものが知られている。発光層にInGaIn を用いた場合には、Inの組成比が 5.5%以下の時、バンド間発光で波長 380nm以下の紫外線が得られている。また、発光層にAlGaIn を用いた場合には、Alの組成比が16%程度で、亜鉛(Zn)とシリコン(Si)とを添加して、ドナー・アクセプタ対発光により、波長 380nmの紫外線が得られている。

## 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 しかし、報告されている窒化ガリウム系化合物半導体発光素子は、必ずしも最適化されておらず、発光効率がまだ低いという問題がある。

## 【0004】

【課題を解決するための手段】 本発明は上記の課題を解決するために成されたものであり、その目的は、窒化ガリウム系化合物半導体素子の発光効率を向上させることである。

## 【0005】 上記の課題を解決するための第1の手段

は、p型層(pクラッド層)とn型層(nクラッド層)とで発光層を挟んだダブルヘテロ接合の窒化ガリウム系化合物半導体発光素子において、nクラッド層を不純物でドーブされた $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.06$ ) より形成することである。また、第2の手段は、上記の手段において、nクラッド層から見て前記発光層とは逆側に、nクラッド層に接合する $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0.02 \leq y \leq 0.04$ ) から成る歪み緩和層を設けたことである。また、第3の手段は、上記の手段において、発光層を多重量子井戸構造で構成することである。また、第4の手段は、上記の手段において、nクラッド層の膜厚を 50nm以上300nm以下とすることである。また、第5の手段は、上記の手段において、nクラッド層の膜厚を 150nm以上250nm以下とすることである。更に、第6の手段としては、発光波長が紫外線領域であるよう設計することである。これら手段により、上記の課題を解決することができる。

## 【0006】

【作用及び発明の効果】 本発明により、発光層に接合するnクラッド層を $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 \leq x \leq 0.06$ )としたことで、発光層から正孔がnクラッド層を越えて下層のn層側に漏れることを抑えることができる。また、nクラッド層上に成長する発光層の格子不整を緩和させることができ、発光層の結晶性を向上させることができる。これにより発光効率が向上するこの発光素子の発光強度は、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  より成るnクラッド層のアルミニウム(Al)組成比Xと強い相関を持つ。 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  より成るnクラッド層のアルミニウム(Al)組成比Xの異なる試料を多数作成し、そのエレクトロルミネッセンス(EL)による発光強度を測定した結果を示すグラフを図2に示す。この図から判るように、上記の発光素子の発光強度は、アルミニウム(Al)の存在により強くなり、組成比Xが0.05の近辺でピークを持っており、特に $0.03 \leq x \leq 0.06$ の範囲において高光度を示す。アルミニウム(Al)組成比Xが0.03よりも小さいと、nクラッド層の無い発光素子に近く、正孔がnクラッド層を越えて下層のn層側に漏れる。また、アルミニウム(Al)組成比Xが0.06よりも大きくなるとアルミニウム(Al)が多過ぎ、発光層の結晶性が低下するため、発光強度が落ちると考えられる。また、 $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  より成るnクラッド層の膜厚の異なる

試料を多数作成し、そのELによる発光強度を測定した結果を示すグラフを図3に示す。この図からも判るように、発光強度に対するnクラッド層の作用効果は、nクラッド層の厚さが200nmの近辺でピークを持っており、50nm以上・300nm以下の範囲において大きく、150nm以上250nm以下の範囲において特に大きい。

#### 【0007】

【発明の実施の形態】以下、本発明を具体的な実施例に基づいて説明する。図1は、サファイア基板11上に形成されたGaN系化合物半導体で形成された発光素子100の模式的な断面構成図である。基板11の上には窒化アルミニウム(AlN)から成る膜厚約25nmのパッファ層12が設けられ、その上にシリコン(Si)ドーブのGaNから成る膜厚約3000nmのnコンタクト層13が形成されている。このnコンタクト層13の上にノンドープのIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nから成る膜厚約180nmの歪み緩和層14Aが形成されている。この歪み緩和層14Aは、サファイア基板11と発光層15との熱膨張係数の違いにより生じる発光層15に掛かる応力を緩和するためのものである。そして、歪み緩和層14Aの上に、シリコン(Si)ドーブのAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nから成る膜厚約200nmのnクラッド層14Bが形成されている。

【0008】そしてnクラッド層14Bの上に膜厚約3.5nmのAl<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nから成るバリア層151と膜厚約3nmのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nから成る井戸層152とが交互に積層された多重量子井戸構造(MQW)の発光層15が形成されている。バリア層151は6層、井戸層152は5層である。発光層15の上にはp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nから成る膜厚約25nmのpクラッド層16が形成されている。更に、pクラッド層16の上にはp型GaNから成る膜厚約100nmのpコンタクト層17が形成されている。

【0009】また、pコンタクト層17の上には金属蒸着による透光性の電極18Aが、nコンタクト層13上には電極18Bが形成されている。透光性の電極18Aは、pコンタクト層17に接合する膜厚約1.5nmのコバルト(Co)と、Coに接合する膜厚約6nmの金(Au)とで構成されている。電極18Bは膜厚約20nmのパナジウム(V)と、膜厚約1800nmのアルミニウム(Al)又はAl合金で構成されている。電極18A上の一部には、Co若しくはNi又はVとAu、Al、又は、それらの合金から成る膜厚約1500nmの電極パッド20が形成されている。

【0010】次に、この発光素子100の製造方法について説明する。上記発光素子100は、有機金属気相成長法(以下「MOVPE」と略す)による気相成長により製造された。用いられたガスは、アンモニア(NH<sub>3</sub>)、キャリアガス(H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>)、トリメチルガリウム(Ga(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMG」と記す)、トリメチルアルミニウム(Al(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMA」と記す)、トリメチルインジウム(In(CH<sub>3</sub>)<sub>3</sub>) (以下「TMI」と記す)、シラン(SiH<sub>4</sub>)とシクロペンタジエニルマグネシウム(Mg(C<sub>5</sub>H<sub>5</sub>)<sub>2</sub>) (以下「CP

2Mg」と記す)である。まず、有機洗浄及び熱処理により洗浄したa面を主面とした単結晶の基板11をMOVPE装置の反応室に載置されたサセプタに装着する。次に、常圧でH<sub>2</sub>を反応室に流しながら温度1100℃で基板11をベーキングした。次に、基板11の温度を400℃まで低下させて、H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>及びTMAを供給してAlNのパッファ層12を約25nmの膜厚に形成した。

【0011】次に、基板11の温度を1150℃に保持し、H<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG及びシランを供給し、膜厚約3000nm、電子濃度 $2 \times 10^{18}/\text{cm}^3$ のGaNから成るnコンタクト層13を形成した。次に、基板11の温度を850℃にまで低下させて、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG及びTMIを供給して、膜厚約180nmのノンドープのIn<sub>0.03</sub>Ga<sub>0.97</sub>Nから成る歪み緩和層14Aを形成した。上記の歪み緩和層14Aを形成した後、再び基板11の温度を1150℃にまで昇温し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG、TMA及びシランを供給して、電子濃度 $8 \times 10^{17}/\text{cm}^3$ のAl<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nから成る膜厚200nmのnクラッド層14Bを形成した。

【0012】次に、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG及びTMAを供給して、膜厚約3.5nmのAl<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nから成るバリア層151を形成した。次に、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG及びTMIを供給して、膜厚約3nmのIn<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nから成る井戸層152を形成した。更に、バリア層151と井戸層152を同一条件で4周期形成し、その上にAl<sub>0.13</sub>Ga<sub>0.87</sub>Nから成るバリア層151を形成した。このようにしてMQW構造の発光層15を形成した。

【0013】次に、基板11の温度を1150℃に保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG、TMA及びCP<sub>2</sub>Mgを供給して、膜厚約25nm、マグネシウム(Mg)をドーブしたp型Al<sub>0.15</sub>Ga<sub>0.85</sub>Nから成るpクラッド層16を形成した。次に、基板11の温度を1100℃に保持し、N<sub>2</sub>又はH<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>、TMG及びCP<sub>2</sub>Mgを供給して、膜厚約100nm、Mgをドーブしたp型GaNから成るpコンタクト層17を形成した。次に、pコンタクト層17の上にエッチングマスクを形成し、所定領域のマスクを除去して、マスクで覆われていない部分のpコンタクト層17、pクラッド層16、発光層15、歪み緩和層14、nコンタクト層13の一部を塩素を含むガスによる反応性イオンエッチングによりエッチングして、nコンタクト層13の表面を露出させた。次に、以下の手順で、nコンタクト層13に対する電極18Bと、pコンタクト層17に対する透光性の電極18Aとを形成した。

【0014】(1) フォトリソストを塗布し、フォトリソグラフィによりnコンタクト層13の露出面上の所定領域に窓を形成して、 $10^{-6}$ Torrオーダ以下の高真空中に排気した後、膜厚約20nmのパナジウム(V)と膜厚約1800nmのAlを蒸着した。次に、フォトリソストを除去する。これによりnコンタクト層13の露出面上に電極18Bが形成される。

(2) 次に、表面上にフォトリソストを一様に塗布して、

フォトリソグラフィにより、pコンタクト層17の上の電極形成部分のフォトレジストを除去して、窓部を形成する。

(3) 蒸着装置にて、フォトレジスト及び露出させたpコンタクト層17上に、 $10^{-6}$ Torrオーダ以下の高真空中に排気した後、膜厚約1.5nmのCoを成膜し、このCo上に膜厚約6nmのAuを成膜する。

【0015】(4) 次に、試料を蒸着装置から取り出し、リフトオフ法によりフォトレジスト上に堆積したCo、Auを除去し、pコンタクト層17上に透光性の電極18A 10を形成する。

(5) 次に、透光性の電極18A上の一部にボンディング用の電極パッド20を形成するために、フォトレジストを一様に塗布して、その電極パッド20の形成部分のフォトレジストに窓を開ける。次に、Co若しくはNi又はVとAu、Al、又は、それらの合金を膜厚1500nm程度に、蒸着により成膜させ、(4)の工程と同様に、リフトオフ法により、フォトレジスト上に堆積したCo若しくはNi又はVとAu、Al、又はそれらの合金から成る膜を除去して、電極パッド20を形成する。

(6) その後、試料雰囲気真空ポンプで排気し、 $O_2$ ガスを供給して圧力3Paとし、その状態で雰囲気温度を約550℃にして、3分程度、加熱し、pコンタクト層17、pクラッド層16をp型低抵抗化すると共にpコンタクト層17と電極18Aとの合金化処理、nコンタクト層13と電極18Bとの合金化処理を行った。このようにして、発光素子100を形成した。

【0016】次に、上記と同様にして、 $Al_x Ga_{1-x} N$ より成るnクラッド層のアルミニウム(Al)組成比Xの異なる試料を多数作成し、そのELによる発光強度を測定した結果を示すグラフを図2に示す。この図から判るように、発光素子100の発光強度は、nクラッド層のアルミニウム(Al)の存在により強くなり、組成比Xが $0.03 \leq X \leq 0.06$ の範囲において特に高光度を示し、更に望ましくは $0.04 \leq X \leq 0.055$ である。また、 $Al_x Ga_{1-x} N$ より成るnクラッド層の厚さの異なる試料を多数作成し、そ

のELによる発光強度を測定した結果を示すグラフを図3に示す。この図から判るように、 $Al_x Ga_{1-x} N$ より成るnクラッド層の厚さは、50nm以上300nm以下、より好ましくは150nm以上250nm以下であればよい。

【0017】なお、上記の実施例では、発光素子100の発光層15は多重量子井戸構造としたが、発光層の構造は、単一量子井戸構造でもよい。また、nクラッド層と歪み緩和層以外の層である、バリア層、井戸層、pクラッド層、n及びpコンタクト層は、任意の混晶比の4元、3元、2元系の $Al_x Ga_{1-x-y} In_y N$  ( $0 \leq X \leq 1$ ,  $0 \leq Y \leq 1$ )としても良い。また、歪み緩和層が無いと効果が低減するが、無くとも従来の発光素子よりは出力は大きくなる。また、p型不純物としてMgを用いたがベリリウム(Be)、亜鉛(Zn)等の2族元素を用いることができる。また、本発明は発光素子のみならず受光素子にも利用することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の具体的な実施例に係わるGaN系化合物半導体発光素子100の構造を示した模式的断面図。

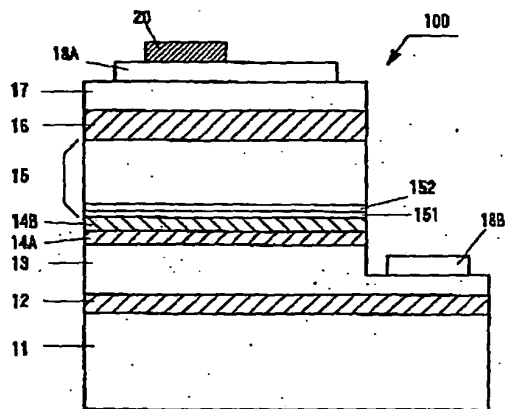
【図2】nクラッド層14B ( $Al_x Ga_{1-x} N$ ) のアルミニウム(Al)組成比Xと発光強度との相関を示すグラフ。

【図3】nクラッド層14B ( $Al_x Ga_{1-x} N$ ) の膜厚と発光強度との相関を示すグラフ。

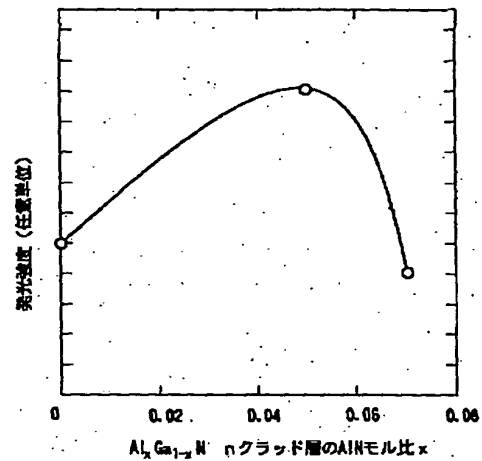
#### 【符号の説明】

11	サファイア基板
12	バッファ層
13	nコンタクト層
14A	歪み緩和層
14B	nクラッド層
15	発光層
16	pクラッド層
17	pコンタクト層
18A	p電極
18B	n電極
20	電極パッド
100	発光素子

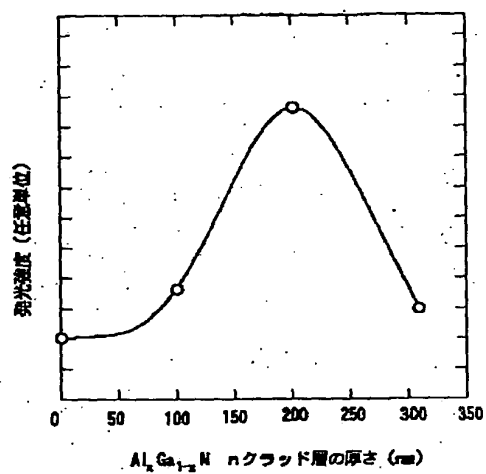
【図1】



【図2】



【図3】



フロントページの続き

(72)発明者 小出 典克  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内

(72)発明者 浅見 慎也  
愛知県西春日井郡春日町大字落合字長畑1  
番地 豊田合成株式会社内  
Fターム(参考) 5F041 AA03 CA05 CA12 CA34 CA65  
CA74 CA82